RÉSIDUS DE GLYPHOSATE DANS L'EAU ET LES SÉDIMENTS SUITE À DES PULVÉRISATIONS TERRESTRES EN MILIEU FORESTIER EN 1986

Québec

LEGRIS, J. et G. COUTURE, 1989. Résidus de glyphosate dans l'eau et les sédiments suite à des pulvérisations terrestres en milieu forestier en 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3322, 26 p.

SUMMARY

As a part of its plantation upkeep program, the ministère de l'Énergie et des Ressources has been using glyphosate (Roundup ™) since 1985 to control competing vegetation in reforested areas. In 1986, the Service des études environnementales carried out an environmental follow-up on glyphosate ground spraying in order to complete and confirm the results obtained in 1985. The present study was designed to provide data on the residual quantities of glyphosate in water and sediments in lotic and lentic environments affected by the spraying. A Boomjet™ cluster-nozzles sprayer mounted on a carrier was used to apply 1.5 kg a.i./ha.

Samples were taken from eight streams draining the treated areas, each stream being protected by buffer zones 30-metre wide. In most cases, 3 consecutive water samples were collected at 12-hour intervals within a period of three days following treatment. The sampling sites were located at distances of 0, 0.1, 0.5 and 1 km from the area treated. None of the 60 water samples collected at these eight streams contained detectable levels of glyphosate (< 1.00 µg/l). However, two positive results were detected in a drainage channel adjacent to a sprayed area (16.9 µg/l) and in a water-course (3.16 µg/l) draining an area treated with another spraying system. In both cases, there had been precipitation before sampling. Sediments were collected at the 0 km station in two of the streams studied 2 days and 1, 3, 7 and 10 weeks after spraying. Nine of the ten samples contained no detectable residues (< 0,05 µg/g dry weight). The only positive value (0.100 µg/g) was detected after 10 weeks.

In a lentic environment, three ponds were directly exposed to spraying, and the maximum concentration found in the water was 2 808 µg/l one hour after application. After 24 hours, the average concentration detected was only 288 µg/l. In the sediments of those ponds, the residues rose from a maximum of 1.61 µg/g after one week to an average value of 0.4 µg/g after eleven weeks.

A comparison between the residues detected in this study and the available toxicological data indicates that no measurable effects may be expected in the environments studied.

Key words : glyphosate, residues, water, sediments, persistence.

RÉSIDUS DE GLYPHOSATE DANS L'EAU ET LES SÉDIMENTS SUITE À DES PULVÉRISATIONS TERRESTRES EN MILIEU FORESTIER EN 1986

Jean Legris, biologiste
Gisèle Couture, tech. de la faune

Service des études environnementales

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Direction de la conservation

Charlesbourg, mars 1989

89-05336/

Dépôt légal - 2e trimestre 1989
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-550-19866-2
No de publication: 3322

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les personnes suivantes du ministère de l'Energie et des Ressources pour leur collaboration à la réalisation de cette étude:

Simon Arbour, étudiant
Michel Carmichael, tech. de laboratoire
Gilles Gaboury, biologiste, Chef de service
Sylvie Jean, tech. en arts appliqués et graphiques
Luc Laberge, biologiste
Denis Labrie, tech. de la faune
Guy Mamarbachi, chimiste
Nicole Nadeau, tech. de laboratoire
Pierre Petitclerc, tech. de la faune
Simone Roy, secrétaire
Robert St-Laurent, étudiant

Des remerciements sont également adressés au personnel attitré aux pulvérisations de phytocides dans chacune des unités de gestion concernées.

SOMMAIRE

Dans le cadre de son programme d'entretien des plantations, le ministère de l'Énergie et des Ressources utilise, depuis 1985, du glyphosate (Roundup^{MD}) pour contrôler la végétation compétitive dans les aires reboisées. Le Service des études environnementales a effectué, en 1986, un suivi environnemental des pulvérisations terrestres de glyphosate afin de compléter et de confirmer les résultats déjà obtenus en 1985. La présente étude devait permettre de connaître les quantités résiduelles de glyphosate dans l'eau et les sédiments de milieux lotiques et lentiques influencés par les travaux. L'application de 1,5 kg i.a./ha était effectuée à l'aide d'un pulvérisateur à barillet de type Boomjet^{MD} monté sur un transporteur.

Huit ruisseaux drainant des secteurs traités et protégés par des bandes de protection de 30 mètres, ont été échantillonnés. En général, 3 échantillons d'eau consécutifs, prélevés aux 12 heures, étaient récoltés à l'intérieur d'une période de 3 jours suite au traitement. Les stations de prélèvement étaient distantes des secteurs traités de 0, 0,1, 0,5 ou 1,0 km. Dans ces huit cours d'eau aucun des 60 échantillons d'eau ne contenait de glyphosate à des niveaux détectables (< 1,00 µg/l). D'autre part, deux résultats positifs ont été détectés dans le cas d'une rigole adjacente à un secteur pulvérisé (16,9 µg/l) et dans un cours d'eau (3,16 µg/l) drainant un territoire traité avec un autre système de pulvérisation. Dans ces deux cas, des précipitations avaient eu lieu avant les prélèvements. Des sédiments ont été prélevés à la station 0 km dans deux des ruisseaux étudiés 2 jours, 1, 3, 7 et 10 semaines après les opérations. Neuf des dix échantillons recueillis ne présentent pas de résidu détectable (<0,05 µg/g de poids sec). La seule valeur positive (0,100 µg/g) est notée après 10 semaines.

En milieu lentique, trois mares ont été exposées directement aux pulvérisations et la concentration maximale retrouvée dans l'eau était de 2 808 µg/l une heure après l'opération. Après vingt-quatre heures, la concentration moyenne détectée n'était plus que de 288 µg/l. Dans les sédiments de ces mares, les résidus sont passés d'un maximum de 1,61 µg/g à une valeur moyenne de 0,4 µg/g après une et onze semaines respectivement.

La comparaison des résidus observés dans cette étude aux données toxicologiques disponibles ne permet pas d'anticiper d'effets mesurables dans les milieux étudiés.

Mots-clés : glyphosate, résidus, eau, sédiments, persistance.

LEGRIS, J. et G. COUTURE, 1989. Résidus de glyphosate dans l'eau et les sédiments suite à des pulvérisations terrestres en milieu forestier en 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3322, 27 p.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS iii

SOMMAIRE v

TABLE DES MATIÈRES vii

LISTE DES TABLEAUX ix

LISTE DES FIGURES ix

INTRODUCTION 1

1. LE PROGRAMME DE PULVÉRISATION 3

    1.1 Description des secteurs traités 3
    1.2 Produit utilisé et technique de pulvérisation 3

2. LE PROGRAMME D'ÉCHANTILLONNAGE 5

    2.1 Stations en milieu lotique 6
    2.2 Stations en milieu lentique 8

3. MÉTHODE EXPÉRIMENTALE 11

    3.1 Techniques de prélèvement 11
        3.1.1 Échantillonnage de l'eau 11
        3.1.2 Échantillonnage de sédiments 11

    3.2 Technique d'analyse 12

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION 13

    4.1 Résidus de glyphosate en milieu lotique 13
        4.1.1 Dans l'eau 13
        4.1.2 Dans les sédiments 16

    4.2 Résidus de glyphosate en milieu lentique 17
        4.2.1 Dans l'eau 17
        4.2.2 Dans les sédiments 20

    4.3 Évaluation sommaire des impacts des résidus de glyphosate dans les milieux aquatiques 21

CONCLUSION 23

BIBLIOGRAPHIE 25

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : Caractéristiques des stations échantillonnées en milieu lotique en 1986 6

TABLEAU 2 : Caractéristiques des mares échantillonnées en 1986 8

TABLEAU 3 : Concentrations résiduelles de glyphosate dans l'eau de milieu lotique à la suite de pulvérisations terrestres de 1,5 kg i.a./ha en 1986 14

TABLEAU 4 : Résidus de glyphosate dans les sédiments de milieu lotique à la suite de pulvérisations terrestres de 1,5 kg i.a./ha en 1986 16

TABLEAU 5 : Concentrations résiduelles de glyphosate dans l'eau de milieu lentique à la suite de pulvérisations terrestres de 1,5 kg i.a./ha en 1986 17

TABLEAU 6 : Variation des concentrations de glyphosate dans l'eau d'échantillons "semblables" prélevés à la mare # 1 du secteur Trinité-des-Monts 20

TABLEAU 7 : Résidus de glyphosate dans les sédiments de milieu lentique à la suite de pulvérisations terrestres de 1,5 kg i.a./ha en 1986 20

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : Localisation des secteurs échantillonnés dans le cadre de l'étude des résidus de glyphosate en milieux lotique et lentique en 1986 5

FIGURE 2 : Concentrations résiduelles de glyphosate dans l'eau de milieu lentique en fonction du temps à la suite de pulvérisations terrestres de 1,5 kg i.a./ha en 1986 18

INTRODUCTION

Depuis 1985, le ministère de l'Énergie et des Ressources (MER) utilise le glyphosate pour contrôler la végétation compétitive des espèces reboisées en forêt publique. Les travaux de dégagement de la régénération de conifères effectués en 1985 ont permis d'amorcer un suivi environnemental des pulvérisations terrestres de glyphosate. Plusieurs milieux (air, eau, sol et végétation) avaient alors été échantillonnés afin d'évaluer sommairement le comportement du produit dans l'environnement (Major et Mamarbachi, 1987; Legris et al., 1987; Legris et Couture, 1988a; 1988b).

La présente étude, effectuée en 1986, devait permettre de vérifier et de compléter les résultats déjà obtenus en milieu aquatique. À cette fin, des échantillons d'eau de surface et de sédiments ont été prélevés dans différents secteurs de pulvérisation. Trois mares affectées par les pulvérisations et huit cours d'eau, protégés par une zone-tampon de 30 mètres ont donc été sélectionnés. Quelques échantillons d'eau ont également été recueillis lors de situations particulières rencontrées lors des opérations afin d'y vérifier le niveau de contamination possible.

1. LE PROGRAMME DE PULVÉRISATION

1.1 Description des secteurs traités

Dans les forêts publiques du Québec, environ 5 000 ha ont été traités en 1986 avec le glyphosate. Près de 75 % de ces superficies étaient situées dans la région du Bas St-Laurent/Gaspésie.

Les pulvérisations de phytocide, nécessaires à l'entretien des plantations, se déroulent habituellement un ou deux ans après les travaux de reboisement. À ce moment la végétation compétitive des espèces reboisées atteint une hauteur de 1 à 2 mètres et est principalement composée d'espèces colonisatrices telles le Framboisier (Rubus idaeus L.), le Cerisier de Pennsylvanie (Prunus pensylvanica L.f.), les Bouleaux (Betula papyrifera Marsh., B. alleghaniensis Britton), les Saules (Salix spp.), l'Aulne rugueux (Alnus rugosa (Du Roi) Spreng.) et l'Epilobe à feuilles étroites (Epilobium angustifolium L.). De façon générale, ces superficies sont dominées par le Framboisier dans une proportion de plus de 80%.

1.2 Produit utilisé et technique de pulvérisation

Le Roundup[MD], fabriqué par Monsanto Canada Inc.[1], a comme ingrédient actif (i.a.) le glyphosate. La dose théorique d'application est de 1 495 g i.a. par hectare soit l'équivalent de 4,2 litres de produit à l'hectare. La concentration de la préparation ou bouillie est de 1 %. Le mélange est fait avec de l'eau. Généralement l'application terrestre est effectuée à l'aide d'un pulvérisateur à barillet de type Boomjet[MD] monté sur un transporteur. La bande de végétation traitée est de 15 mètres à chaque passage.

Les normes du MER relatives à l'utilisation des phytocides en milieu forestier (Bélanger et Lécuyer, 1982) spécifient les périodes propices à la

---

[1] La citation des noms commerciaux ne constitue pas une recommandation d'utilisation par le MER. Depuis 1987, le Roundup[MD] est désigné Vision[MD].

pulvérisation. La vitesse du vent doit être inférieure à 8 km/h, l'humidité relative supérieure à 50% et la température à l'ombre inférieure à 24°C. Ces conditions favorables sont souvent réunies tôt le matin et à la tombée du jour. La pluie pouvant réduire l'efficacité du traitement, il est recommandé de s'assurer qu'il n'y ait pas d'averse à l'intérieur d'une période de quatre heures après la fin des pulvérisations. Mentionnons de plus que ces opérations ont lieu du début d'août à la mi-septembre alors que l'aoûtement des conifères est terminé et que la compétition demeure potentiellement susceptible au traitement.

Lors de ces travaux, des bandes de protection où toute pulvérisation est interdite, sont respectées à proximité des zones à susceptibilité environnementale élevée. Ainsi, le long des cours d'eau à écoulement permanent, une bande de protection de 30 mètres était établie.

2. LE PROGRAMME D'ÉCHANTILLONNAGE

Cinq secteurs ont été retenus pour l'étude des résidus de glyphosate en milieux lotique et lentique en 1986. Ceux-ci sont représentatifs des travaux de pulvérisation habituellement exécutés sous la supervision du MER. De plus, deux autres secteurs, où des situations particulières ont été notées, se sont ajoutés au programme prévu. La localisation de ces secteurs apparaît à la figure 1.

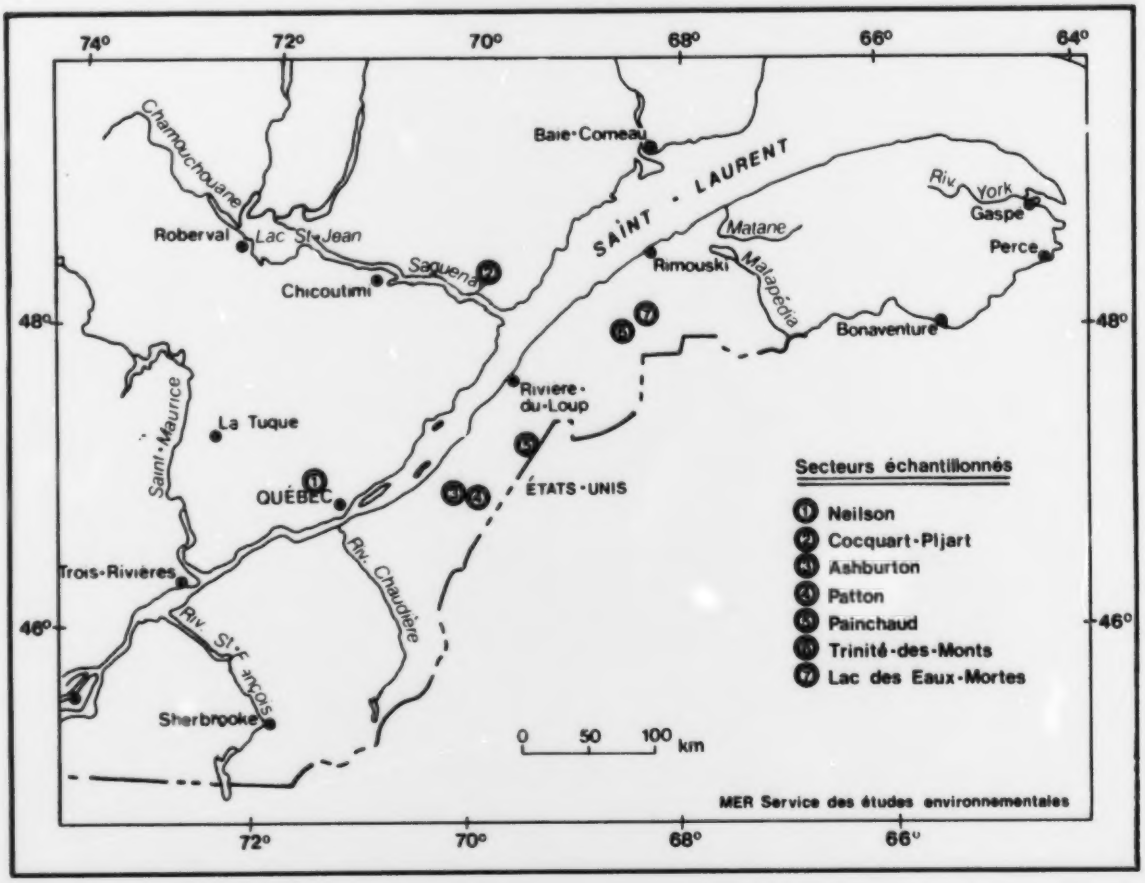

Figure 1. Localisation des secteurs échantillonnés dans le cadre de l'étude des résidus de glyphosate en milieux lotique et lentique en 1986

2.1 Stations en milieu lotique

Onze cours d'eau ont été échantillonnés lors de ce suivi. Huit d'entre eux étaient protégés par une bande de protection de 30 mètres. Les terrains où se font les travaux de pulvérisation sont généralement accidentés et les stations ont dû être positionnées en tenant compte de l'accessibilité au cours d'eau. Le tableau 1 identifie ces ruisseaux selon les secteurs traités et précise la position des stations d'échantillonnage en aval des limites des blocs traités. La superficie du territoire traité qui se drainait dans le cours d'eau au début de l'échantillonnage y est également indiquée. De plus, afin de vérifier l'influence des précipitations sur le comportement des résidus, celles-ci sont mentionnées lorsqu'elles ont eu lieu entre la fin des travaux et le début de la séquence d'échantillonnage.

TABLEAU 1 : Caractéristiques des stations d'échantillonnage de l'eau en milieu lotique en 1986

Secteur traité	Cours d'eau (#)	Distance des blocs (km)	Séquence d'échantillonnage après traitement (hre)	Bassin de drainage traité (ha)	Précipitation avant l'échantillonnage
Trinité-des-Monts	1	0	T[a], 20, 38, 44	287	non
	2	0, 0.1, 0.5, 1	T, 48, 54, 68	18	oui
	3	1	20, 37, 44	495	non
Lac des Eaux-Mortes	1	0, 0.1,	110, 115, 131	18	oui
	2	0.1, 0.5	1	34	non
Painchaud		0, 0.1, 0.2, 0.5, 1	T, 10, 25, 34, 49, 76	34	oui
Ashburton		0, 0.1	T, 40, 48, 63	21	oui
Nelson		0	T, 9, 33, 55	20	oui
Cas particuliers :					
Cocquart-Pijart[b]		0	31	3.25	oui
Painchaud[c]		0	11	---	oui
Patton[d]		---	---	---	non

[a] Échantillon témoin prélevé avant le traitement
[b] Pulvérisation avec une lance
[c] Dans une rigole adjacente à un bloc traité
[d] Au site de la prise d'eau pour la préparation de la bouillie

Des échantillons témoins ont été prélevés avant le début des travaux de pulvérisation afin de s'assurer de l'absence du glyphosate dans le milieu. Toutefois aucun témoin n'a pu être prélevé au secteur Lac des Eaux-Mortes, les

travaux de pulvérisation étant débutés. Trois échantillons d'eau consécutifs prélevés approximativement aux 12 heures à l'intérieur d'une période de trois jours devaient être récoltés à chacun des ruisseaux. Les secteurs Painchaud et Lac des Eaux-Mortes ont toutefois dérogé à cette règle.

La plupart des cours d'eau sélectionnés se retrouvent à la tête des bassins de drainage et représentent, de ce fait, des ruisseaux de faibles débits. La profondeur moyenne de ces ruisseaux était de 10 à 15 cm et leur largeur pouvait varier de 1 à 2 mètres. Le cours d'eau # 3 du secteur Trinité-des-Monts fait exception à cette description puisqu'il représente une rivière (rivière Rimouski) susceptible de recevoir la majorité des eaux de drainage du secteur. Au site de prélèvement, celle-ci possédait une largeur de 60 mètres et une profondeur moyenne de 30 cm au moment de l'échantillonnage.

Des prélèvements de sédiments ont été récoltés à deux stations localisées à 0 km des superficies traitées. La première station était située au cours d'eau # 2, du secteur Trinité-des-Monts et présentait des dépôts fins (argile, limon et sable) alors que la seconde, au secteur Painchaud, était plutôt constituée de graviers fins et grossiers. Les échantillons y ont été récoltés 2 jours, 1, 3, 7 et 10 semaines après les travaux.

Trois cas particuliers ont de plus été échantillonnés en milieu lotique. Dans le secteur Cocquart-Pijart, un cours d'eau, situé à l'intérieur d'un territoire traité à l'aide d'un pulvérisateur à lance, a été échantillonné. Un échantillon a été prélevé à la suite des premières précipitations. Mentionnons qu'une bande de protection de 60 mètres devait être respectée le long du cours d'eau lors de ces opérations. Dans le secteur Painchaud, une rigole asséchée longeait un bloc traité. Celle-ci était susceptible de recevoir du produit puisqu'aucune bande de protection n'était requise. Des précipitations sont survenues peu de temps après les travaux et ont entraîné un écoulement dans cette dernière. Un échantillon d'eau fut donc prélevé afin de vérifier la présence de résidus. Finalement, au secteur Patton, un échantillon fut recueilli dans un ruisseau où l'on prélevait l'eau lors de la préparation de la bouillie.

2.2 Stations en milieu lentique

Trois mares exposées aux pulvérisations ont été échantillonnées en 1986. Le tableau 2 résume les principales caractéristiques de celles-ci.

Tableau 2 : Caractéristiques des mares échantillonnées en 1986

Secteur traité	Mare #	Superficie (m^2)	Volume (m^3)	Nature du fond
Trinité-des-Monts	1	187	45	Dépôt argileux (5 à 10 cm)
	2	30	11	Débris de coupe et matière organique (10 à 20 cm)
Painchaud		28	6	Gravier

La profondeur moyenne des mares échantillonnées se situait autour de 30 cm et variait quelque peu selon l'importance des précipitations. Mentionnons que près de 60 % de la superficie de la mare # 1 du secteur Trinité-des-Monts était colonisée par de la végétation aquatique (Callitriche sp.).

La séquence d'échantillonnage en milieu lentique a été établie en se basant sur les résultats obtenus en 1985 (Legris et al. 1987). Les échantillons d'eau devaient être récoltés sur une période de 72 heures suite à la pulvérisation. Les deux mares du secteur Trinité-des-Monts ont été échantillonnées à toutes les quatre heures pendant les 36 premières heures puis à chaque 12 heures. La mare du secteur Painchaud ne fut échantillonnée qu'aux 12 heures afin de comparer les résultats obtenus.

Dans le but de compléter l'étude entreprise en 1985 sur la représentativité des échantillons, quatre séries de quatre échantillons prélevés successivement ont été récoltés au même endroit à la mare # 1 du secteur Trinité-des-Monts. Ces séries ont été prélevées 4, 16, 28 et 48 heures après la pulvérisation afin de vérifier les variations à de fortes et à de faibles concentrations.

Des échantillons de sédiments ont également été prélevés dans les mares du secteur Trinité-des-Monts, 2 jours, 1, 3, 7 et 11 semaines après le traitement. La mare du secteur Painchaud a été échantillonnée une semaine après la pulvérisation.

Afin de s'assurer de l'absence de glyphosate dans chacune de ces trois mares avant le début des travaux, des échantillons témoins d'eau et de sédiments ont été prélevés.

3. MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

3.1 Techniques de prélèvement

Tous les récipients utilisés étaient préalablement rincés à l'acétone et à l'hexane en laboratoire. Une feuille d'aluminium était ensuite insérée entre l'ouverture et le couvercle du récipient afin d'éviter toute contamination. Les instruments utilisés devaient être nettoyés à l'eau distillée et à l'alcool éthylique avant leur utilisation.

Tous les échantillons étaient immédiatement placés au frais (4°C) après leur récolte. Les échantillons de sédiments étaient congelés en laboratoire jusqu'à leur analyse.

3.1.1 Échantillonnage de l'eau

Des bouteilles en verre de type Sovirel[MD] d'une capacité d'un litre étaient utilisées pour la récolte manuelle des échantillons. En milieu lotique, l'échantillonnage s'effectuait au centre du ruisseau, l'ouverture de la bouteille orientée vers l'amont. Dans les mares, l'échantillon était récolté à partir de la rive à environ 30 cm de celle-ci. Tous les échantillons d'eau ont été prélevés à une profondeur avoisinant 10 centimètres.

3.1.2 Échantillonnage des sédiments

Les sédiments ont été récoltés à l'aide d'une louche, recouverte de chrome, d'un diamètre de 92 mm et d'un volume de 100 ml. Ils ont été recueillis dans des pots Mason[MD] de 500 ml. Deux prélèvements étaient effectués pour chaque échantillon. L'échantillonneur ne devait pas "gratter" la couche superficielle de sédiments mais faire pénétrer la louche complètement de façon à obtenir la capacité maximale de celle-ci sans perturber la couche de surface des sédiments. Un bloc d'étafoam recouvert d'une feuille d'aluminium était pressé sur la louche lorsque celle-ci était retirée de l'eau afin d'éviter la perte des sédiments lors de la remontée. L'échantillon était prélevé à environ 30 cm de la rive.

3.2 Techniques d'analyse

L'analyse des résidus de glyphosate dans l'eau et les sédiments a été effectuée par le laboratoire de chimie du Service des études environnementales du ministère de l'Énergie et des Ressources. Les techniques d'analyse utilisées nécessitaient l'usage d'un chromatographe liquide à haute performance (Mamarbachi et Nadeau, 1987).

Pour l'eau de rivière, des tests de récupération ont été faits à des niveaux de concentration de 4,5 µg/l et 40 µg/l. Au plus faible niveau d'enrichissement, cinq analyses ont présenté une récupération moyenne de 74 % avec un coefficient de variation de 8 %. Avec un enrichissement de 40 µg/l, on a obtenu une récupération moyenne de 105 % avec un coefficient de variation de 6% à la suite de six analyses. La limite de détection était de 1,00 µg/l. De plus, deux autres laboratoires ont procédé aux dosages de quelques échantillons d'eau sélectionnés dans ce même projet et les résultats des trois laboratoires montrent, dans l'ensemble, une concordance des niveaux de concentration.

Pour les sédiments, 12 déterminations à un niveau d'enrichissement de 0,5 µg/g ont donné une récupération moyenne de 66 % avec un coefficient de variation de 20%. Ce faible taux de récupération serait attribuable, entre autres, à l'adsorption du glyphosate aux sédiments. Plusieurs études rapportent d'ailleurs un tel comportement (Glass, 1983; Lundgren, 1986; Sprankle et al., 1975b). La limite de détection était de 0,050 µg/g de poids sec.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans le but d'atténuer la sous-évaluation de certains résultats décelés lors des tests de récupération, nous avons majoré ces derniers à un pourcentage de récupération équivalent à 100 %. Ainsi, les résultats d'analyse des échantillons d'eau qui présentaient un niveau de concentration en deça de 10 µg/l, ont été multipliés par un facteur de 1,35. Dans le même ordre d'idée, les résultats de l'analyse des sédiments ont été multipliés par un facteur de 1,52.

4.1 Résidus de glyphosate en milieu lotique

4.1.1 Dans l'eau

Soixante-cinq échantillons d'eau ont été prélevés dans les huit cours d'eau étudiés. L'analyse de cinq échantillons témoins n'indiquent pas la présence de glyphosate avant les travaux de pulvérisation. Les soixante autres échantillons recueillis après les traitements ne présentent également aucun résidu détectable (< 1,00 µg/l) quelle que soit la position de la station, la période d'échantillonnage ou l'importance du bassin de drainage traité. La présence de précipitations ne semblent pas influencer ces résultats bien que nous ne possédions pas de données sur l'importance de ces dernières. Ces résultats sont présentés au tableau 3. Afin de faciliter la comparaison des diverses séquences d'échantillonnage entre les stations, nous avons regroupé les résultats selon des périodes de 12 heures.

Compte tenu de ces données, il s'avère que la contamination de l'eau du milieu lotique est négligeable en respectant le mode d'opération préconisé par le MER. Ces résultats confirment l'efficacité de la bande de protection de 30 mètres le long des cours d'eau, suite à des travaux d'entretien de plantation avec des pulvérisateurs à barillet de type Boomjet^{MD} (Legris et al., 1987).

Tableau 3 : Concentrations résiduelles de glyphosate dans l'eau de milieu lotique à la suite de pulvérisations terrestres de 1,5 kg i.a./ha en 1986

Secteur traité	Cours d'eau (#)	Distance des blocs (km)	Temps approximatif après traitement (hres)									
			T[a]	12	24	36	48	60	72	108	120	132
Trinité-des-Monts	1	0	ND[b]	---	ND	ND	ND	---	---	---	---	---
	2	0	ND	---	---	---	ND	ND	ND	---	---	---
		0,1	---	---	---	---	ND	ND	ND	---	---	---
		0,5	---	---	---	---	ND	ND	ND	---	---	---
		1,0	---	---	---	---	ND	ND	ND	---	---	---
	3	1	---	---	ND	ND	ND	---	---	---	---	---
Lac des Eaux-Mortes	1	0	---	---	---	---	---	---	---	ND	ND	ND
		0,1	---	---	---	---	---	---	---	ND	ND	ND
	2	0,1	---	ND	---	---	---	---	---	---	---	---
		0,5	---	ND	---	---	---	---	---	---	---	---
Painchaud		0	ND	ND	ND	ND	ND	---	ND	---	---	---
		0,1	---	ND	ND	ND	ND	---	ND	---	---	---
		0,2	---	ND	ND	ND	ND	---	ND	---	---	---
		0,5	---	ND	ND	ND	ND	---	ND	---	---	---
		1,0	---	ND	ND	ND	ND	---	ND	---	---	---
Ashburton		0	ND	---	---	ND	ND	ND	---	---	---	---
		0,1	---	---	---	ND	ND	ND	---	---	---	---
Neilson		0	ND	ND	---	ND	---	ND	---	---	---	---

[a] Échantillon témoin prélevé avant le traitement
[b] Non détecté (< 1,00 µg/l)

Trois cas particuliers ont également été échantillonnés puisqu'ils présentaient des situations pouvant favoriser la présence de résidus de glyphosate dans l'eau. Au secteur Patton, aucun résidu n'a été détecté dans un ruisseau utilisé comme source d'eau lors de la préparation de la bouillie. Précisons qu'une distance minimale de 60 m est établie entre la source d'eau et le site de préparation de la bouillie. Les boyaux utilisés sont, de plus, munis de valve de non-retour. Ces précautions sont prises afin de minimiser les risques de contamination environnementale (Bélanger et Lécuyer, 1982).

Au secteur Painchaud, l'échantillon d'eau prélevé dans la rigole présentait une concentration de 16,9 µg/l, 11 heures après le traitement à la suite de précipitations survenues peu de temps après les opérations. Soulignons que lors des opérations, on doit éviter de pulvériser dans les rigoles asséchées bien qu'aucune bande de protection ne soit pré-déterminée. Un cas semblable avait également été observé lors de l'étude réalisée en 1985 (Legris et al., 1987). Ces résultats suggèrent la possibilité de déplacement du glyphosate dans l'eau par entraînement de particules de sol contaminé. Si de telles situations devaient se reproduire ultérieurement, il serait intéressant de prendre d'autres échantillons afin de préciser l'importance de ce déplacement.

Au secteur Cocquart-Pijart, un échantillon prélevé à la suite d'une pluie, 31 heures après le traitement, révèle la présence d'une concentration de 3,16 µg/l dans un cours d'eau situé à l'intérieur d'un territoire traité à l'aide d'un pulvérisateur à lance. Une bande de protection de 60 mètres devait être respectée le long du ruisseau. Mentionnons que cette technique est peu utilisée au Ministère.

Au cours des travaux ultérieurs, il serait intéressant de poursuivre la cueillette de quelques échantillons d'eau en milieu lotique afin d'exercer une surveillance soutenue permettant de confirmer le faible niveau de résidus dans l'eau. Ces contrôles pourront être faits à proximité des zones traitées (0 km), peu de temps après le traitement (à l'intérieur d'un délai de 24 heures) ou à la suite des premières précipitations, afin d'augmenter les possibilités de détecter du produit.

4.1.2. Dans les sédiments

Le tableau 4 fournit les résultats obtenus lors du suivi des résidus de glyphosate dans les sédiments de deux ruisseaux. Les échantillons témoins n'ont pas révélé de résidu dans les sédiments avant le traitement.

Tableau 4 : Résidus de glyphosate[a] dans les sédiments de milieu lotique à la suite de pulvérisations terrestres de 1,5 kg i.a./ha en 1986

Secteur traité	Distance des blocs	Temps après traitement					
		T[b]	2 jours	1 sem.	3 sem.	7 sem.	10 sem.
Trinité-des-Monts, cours d'eau # 2	0 km	ND[c]	ND	ND	ND	ND	0,100
Painchaud	0 km	ND	ND	ND	ND	ND	ND

a Exprimés en µg/g de poids sec
b Echantillon témoin prélevé avant le traitement
c Non détecté (< 0,050 µg/g)

Aucun résidu n'a été retrouvé dans les sédiments de ces deux cours d'eau sauf à la dixième semaine au secteur Trinité-des-Monts. La possibilité que le glyphosate se déplace lorsqu'il est adsorbé à des particules de sol pourrait expliquer ce résultat. Le lessivage accru provoqué par les fréquentes pluies d'automne pourrait favoriser une telle situation. Des échantillons contrôles de sédiments, après de fortes pluies, devraient être considérés lors d'échantillonnages ultérieurs.

4.2 Résidus de glyphosate en milieu lentique

4.2.1 Dans l'eau

Les résidus de glyphosate trouvés dans l'eau de mares directement pulvérisées sont présentés au tableau 5. Les échantillons témoins prélevés avant les travaux confirment l'absence de glyphosate dans l'eau de ces mares.

Tableau 5 : Concentrations résiduelles de glyphosate[a] dans l'eau de milieu lentique à la suite de pulvérisations terrestres de 1,5 kg i.a./ha en 1986

Temps après traitement (hres)	Trinité-des-Monts # 1	Trinité-des-Monts # 2	Painchaud
T[b]	ND[c]	ND	ND
1	2 808	11,3	1 257
4	356[d]	19,6	---
8	567	21,8	---
12	343	19,7	1 043
16	304[d]	10,9	---
20	85,0	12,9	---
24	308	22,1	268
28	245[d]	12,4	---
32	304	17,1	---
36	28,9	10,2	213
40	---	12,3	---
48	20,2[d]	---	184
52	---	2,82	---
60	16,0	---	---
65	---	---	154
72	14,5	4,28	---
76	---	3,96	---

[a] Exprimées en µg/l
[b] Echantillon témoin prélevé avant le traitement
[c] Non détecté (< 1,00 µg/l)
[d] Valeur moyenne de quatre échantillons

À la mare # 1 de Trinité-des-Monts, la concentration maximale obtenue une heure après le traitement est de 2 808 µg/l. Cette valeur diminue rapidement à l'intérieur des premières heures suivant la pulvérisation et après 4 heures, on obtient une concentration de 356 µg/l, soit 13 % du maximum déjà observé. Par la suite, la concentration demeure relativement stable jusqu'à 32 heures après le traitement. Des valeurs représentant 20 et 3 % du maximum sont toutefois remarquées après 8 et 20 heures respectivement. À partir de 36 heures, la concentration détectée est égale ou en deça de 1 % du maximum observé. Mentionnons que les échantillons d'eau récoltés après 32 heures contenaient beaucoup de particules en suspension suite à des précipitations de 12 mm.

À la mare du secteur Painchaud, on obtient la concentration maximale de 1 257 µg/l, une heure après le traitement. Le prélèvement suivant recueilli après 12 heures révèle une concentration de 1 043 µg/l. Ensuite, le niveau de résidus diminue à 268 µg/l après 24 heures soit environ 26 % de la valeur initiale. La concentration est semblable après 36 heures puis à 48 et 65 heures après le traitement, elles sont de 184 et 154 µg/l respectivement. Ce dernier résultat représente 12 % de la concentration maximale. Aucune précipitation n'est survenue lors de l'échantillonnage.

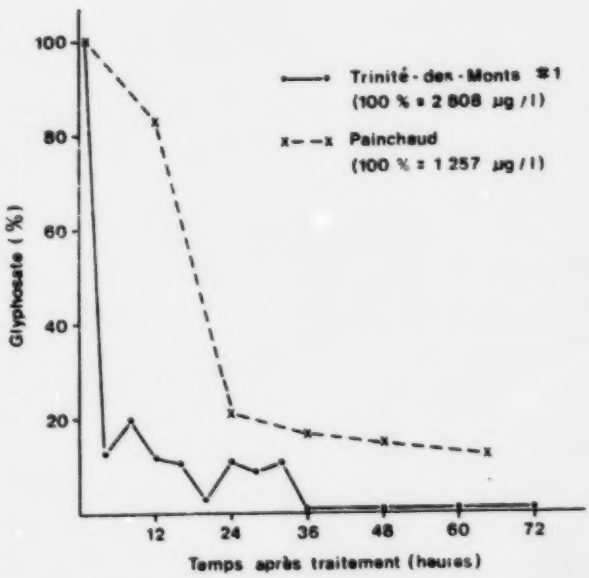

Figure 2 : Concentrations résiduelles de glyphosate dans l'eau de milieu lentique en fonction du temps à la suite de pulvérisations terrestres de 1,5 kg i.a./ha en 1986

Le comportement des résidus de glyphosate dans ces deux mares, est illustré à la figure 2. Les résultats sont exprimés en pourcentage de la concentration maximale afin de pallier à la différence des concentrations initiales qui pourrait être due, entre autres, à la variabilité du dépôt lors de l'application (Dostie et Lécuyer, 1987). Le comportement du glyphosate dans ces deux mares s'apparente aux résultats obtenus dans une autre mare sans écoulement étudiée en 1985 (Legris et al., 1987). Pour cette dernière, le

niveau maximum de 1 543 µg/l avait été observé une heure après le traitement. Après 13 et 45 heures, on retrouvait respectivement 24 % et moins de 1 % de la valeur maximale. La diminution de la concentration observée dans les premières heures pourrait s'expliquer par l'adsorption du glyphosate sur les particules en suspension et les sédiments (Sprankle et al., 1975; Lund-Hoie et Friestad, 1986; USDA Forest Service, 1984; Feng et Klassen, 1986). L'augmentation de particules en suspension dans l'eau, suite à des précipitations, pourrait donc favoriser le "déplacement" du produit, de l'eau vers ces particules qui sédimenteront par la suite. Il en résultera donc une diminution de la concentration de glyphosate dans l'eau. Les résultats obtenus à la mare #1 de Trinité-des-Monts, après 32 heures, pourraient illustrer une telle situation. Notons que les précipitations ont pu également occasionner une dilution des concentrations. La dégradation biologique du glyphosate contribuera aussi à la baisse des niveaux de résidus en fonction du temps (Tooby, 1985; Sacher, 1978; Rueppel et al., 1977).

Des trois mares échantillonnées, la mare # 2 du secteur Trinité-des-Monts se démarque par sa contamination très faible. La concentration maximale de 22,1 µg/l est observée 24 heures après le traitement et après 76 heures, cette valeur diminue à 3,96 µg/l. Les informations que nous possédons sur cette mare ainsi que sur les opérations de pulvérisation ne nous permettent pas d'expliquer cette situation. Une confirmation visuelle de la pulvérisation ne semble pas être suffisante pour s'assurer du dépôt. Lors d'échantillonnages ultérieurs, il serait important de quantifier ce dernier à l'aide de dispositifs appropriés.

La représentativité des échantillons récoltés dans l'eau de milieu lentique a été vérifiée à quatre reprises. Les résultats de cette étude sont présentés au tableau 6. L'écart-type obtenu est de 20 % à de faibles concentrations (20 µg/l) et varient de 6 à 35 % à des niveaux plus élevés (250 à 300 µg/l). En 1985, un test similaire à un niveau de concentration de 363 µg/l avait présenté un écart-type équivalent à 18 % (Legris et al., 1987). Il semble donc que les échantillons ponctuels, tels que récoltés lors de ce suivi, soient valides pour représenter l'ordre de grandeur des résidus de glyphosate présents en surface.

Tableau 6 : Variation des concentrations de glyphosate dans l'eau d'échantillons "semblables" prélevés à la mare #1 du secteur Trinité-des-Monts

Temps après traitement (hres)	Concentrations de glyphosate (µg/l)				Moyenne ± Écart-type (µg/l)
4	191	375	365	493	356 ± 124
16	295	305	284	331	304 ± 20
28	255	218	210	297	245 ± 40
48	23,7	23,5	16,1	17,5	20,2 ± 4,0

4.2.2 Dans les sédiments

Le tableau 7 fournit les résultats obtenus dans les sédiments des trois mares étudiées. Les échantillons témoins n'ont pas révélé de résidu avant le traitement.

Tableau 7 : Résidus de glyphosate[a] dans les sédiments de milieu lentique à la suite de pulvérisations terrestres de 1,5 kg i.a./ha en 1986

		Temps après traitement					
Secteur traité	Mare (#)	T[b]	2 jours	1 sem.	3 sem.	7 sem.	11 sem.
Trinité-des-Monts	1	ND[c]	1,31	1,61	0,362	0,903	0,467
	2	ND	0,590	0,230	0,676	1,18	0,366
Painchaud		ND	--	0,603	--	--	--

a Exprimés en µg/g de poids sec
b Échantillon témoin prélevé avant le traitement
c Non détecté (< 0,050 µg/g)

Le maximum de résidus observé est de 1,61 µg/g, une semaine après le traitement. Par la suite, les quantités détectées sont plutôt variables. Le phénomène de dégradation biologique associé à un apport résiduel de produit dans la mare (lessivage du sol, chute du feuillage, etc.) pourraient peut-être expliquer ces fluctuations. Après 11 semaines, le niveau de résidus détecté est d'environ 0,4 µg/g.

Afin de mieux cerner le comportement et la persistance du produit dans les sédiments, il est proposé d'effectuer d'autres études selon la séquence suivante : Témoin, 1 et 3 jours, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 36 et 52 semaines après le traitement.

4.3 Évaluation sommaire des impacts des résidus de glyphosate dans les milieux aquatiques

Une revue de la littérature sur les impacts du glyphosate dans les milieux aquatiques a permis de retracer diverses données pouvant contribuer à une meilleure évaluation des répercussions possibles des résidus retrouvés dans ce suivi.

Ainsi Kreutzweiser, Kingsbury et Feng (1989) ont évalué l'effet de pulvérisations aériennes de glyphosate (2,0 kg i.a./ha) sur la dérive des invertébrés aquatiques peuplant les cours d'eau. Les résidus de glyphosate détectés dans l'eau de ces ruisseaux, directement exposés aux pulvérisations, n'ont pas excédé 162 µg/l. Selon leurs résultats, l'opération n'induirait qu'une réponse minime ou non significative sur la dérive de ces organismes. Les travaux de Hildebrand et al. (1980) indiquent d'autre part, que des traitements correspondant à 10 et 100 fois la concentration généralement utilisée (2,2 kg/ha) ne provoquent pas de variation significative chez la population de Daphnia magna. Folmar et al. (1979) ont réalisé des études qui révèlent qu'à une exposition équivalente à celle retrouvée dans la présente étude, il n'y a pas induction d'effet toxique chez quatre espèces d'invertébrés aquatiques. Plus récemment, Servizi et al. (1987) rapportaient des données semblables.

L'Agence de protection de l'environnement des États-Unis considère, pour sa part, que les résidus de glyphosate ont un faible potentiel de bio-accumulation dans les poissons et les moules (U.S. Environmental Protection Agency, 1986). Le comportement d'adsorption du produit aux particules de sédiments tendrait également à le rendre moins disponible aux organismes aquatiques. En ce qui a trait aux plantes aquatiques, les symptômes de phytotoxicité pourraient être variables selon que la plante est émergée, flottante ou submergée. Barrett (1985) rapporte que lors d'application en milieu aquatique, le glyphosate apparaît inefficace sur les plantes submergées. Enfin, la dégradation biologique du glyphosate se ferait principalement par l'action des microorganismes.

En tenant compte de ces informations et des faibles niveaux de résidus retrouvés autant dans l'eau que dans les sédiments des cours d'eau étudiés, il ne semble pas que les travaux d'entretien de plantations, tels que réalisés durant ce suivi, occasionnent des impacts notables dans le milieu lotique.

En milieu lentique, une évaluation semblable serait valable puisque les niveaux de résidus détectés dans l'eau diminuent rapidement en deçà de 24 heures. De plus, les mares dont il est question ici, sont de petite dimension et n'abritent pas de population de poissons. Bien que l'on détecte des résidus de l'ordre de 0,4 µg/g dans les sédiments après onze semaines, rien ne nous laisse envisager que ces derniers pourront causer des impacts appréciables sur les organismes aquatiques en se référant aux études citées précédemment.

CONCLUSION

Les résultats obtenus dans ce suivi permettent de confirmer et de compléter en partie les données recueillies en 1985. En milieu lotique, le respect d'une bande de protection de 30 mètres le long des cours d'eau à écoulement permanent lors de travaux par voie terrestre utilisant des pulvérisateurs à barillet de type Boomjet^{MD} s'avère tout à fait adéquat pour respecter la qualité de ce milieu.

En milieu lentique, directement exposé aux pulvérisations, les résultats obtenus sont plus variables. On peut retenir que la concentration maximale de glyphosate retrouvée dans l'eau a été de 2 808 µg/l et que celle-ci diminuait rapidement dans les premières 24 heures après le traitement. L'adsorption du glyphosate aux particules en suspension et aux sédiments pourrait expliquer cette diminution. Un maximum de 1,61 µg/g a été détecté dans les sédiments de ces mares, une semaine après le traitement. Après 11 semaines, la quantité retrouvée était d'environ 0,4 µg/g.

Selon les informations retrouvées dans la littérature, il ne semble pas que les niveaux de résidus de glyphosate détectés dans les milieux aquatiques puissent porter préjudice aux organismes qui y vivent.

Lors de travaux ultérieurs, il est recommandé de poursuivre la surveillance des milieux aquatiques afin de valider les présents résultats.

BIBLIOGRAPHIE

BARRETT, P.R.F., 1985. Efficacy of glyphosate in the control of aquatic weeds. In : The herbicide glyphosate, E. Grossbard and D. Atkinson (eds.), Butterworths and Co. (Publishers), U.K., pp. 365-374.

BÉLANGER, P. et H. LÉCUYER, 1982. Normes relatives à l'utilisation de phytocides en milieu forestier. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des pépinières et du reboisement, 60 p.

BRONSTAD, J.O. and H.O. FRIESTAD, 1985. Behaviour of glyphosate in the aquatic environment. In E. Grossbard and D. Atkinson (eds.), The herbicide glyphosate. Butterworths and Co. (Publishers) Ltd., U.K., pp. 200-205.

DOSTIE, R. et H. LÉCUYER, 1987. Évaluation du dépôt et de la dérive du glyphosate lors de pulvérisations terrestres en milieu forestier, 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service des études environnementales et Service de la régénération forestière, 39 p.

FENG, J.C., and H.D. KLASSEN, 1986. Forestry field and laboratory manual for herbicide residue sampling, sample processing and reporting. Agriculture Canada, Canadian Forestry Service, FPMI, information report FPM-X-72, 38 p.

FOLMAR, L.C., SANDERS, H.O. and A.M. JULIN, 1979. Toxicity of the herbicide glyphosate and several of its formulations to fish and aquatic invertebrates. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 8 (3) : 269-278.

GLASS, R.L., 1983. Liquid chromatographic determination of glyphosate in fortified soil and water samples. J. Agric. Fook Chem., 31 (2) : 280-282.

HILDEBRAND, L.D., SULLIVAN, D.S. and T.P. SULLIVAN, 1980. Effects of Roundup^{R} herbicide on populations of Daphnia magna in a forest pond. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 25 (3) : 353-357.

KREUTZWEISER, D.P., KINGSBURY, P.D. and J.C. FENG, 1989. Drift response of stream invertetebrates to aerial applications of glyphosate. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 42 : 331-338.

LEGRIS, J. et G. COUTURE, 1988a. Résidus de glyphosate dans le sol forestier après des pulvérisations terrestres en 1985 et 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3318, 22 p.

LEGRIS, J. et G. COUTURE, 1988b. Résidus de glyphosate dans le feuillage, les ramilles et les fruits sauvages suite à des pulvérisations terrestres en milieu forestier en 1985 et 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3321, en préparation.

LEGRIS, J., G. COUTURE, L. LABERGE et G. MAMARBACHI, 1987. Concentrations résiduelles de glyphosate dans l'eau de surface en milieu forestier suite à des pulvérisations terrestres, 1985. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3315, 35 p.

LUNDGREN, L.N., 1986. A new method for the determination of glyphosate and (aminomethyl) phosphonic acid residues in soils. J. Agric. Food Chem., 34 (3) : 535-538.

LUND-HOIE, K. and H.O. FRIESTAD, 1986. Photodegradation of the herbicide glyphosate in water. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 36 (5) : 723-729.

MAJOR, L et G. MAMARBACHI, 1987. Concentrations de glyphosate dans l'air et exposition des travailleurs lors de certaines pulvérisations terrestres de phytocides, en 1986. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3316, 11 p.

MAMARBACHI, G. et N. NADEAU, 1987. Méthode d'analyse de glyphosate dans l'eau, l'air, le sol, les sédiments et la végétation. Gouvernement du Québec, ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, publ. 3319, 16 p.

RUEPPEL, M.L., B.B. BRIGHTWELL, J. SCHAEFER and J.T. MARVEL, 1977. Metabolism and degradation of glyphosate in soil and water. J. Agric. Food Chem., 25 (3) : 517-528.

SACHER, R.M., 1978. Safety of Roundup in the environment. Proceedings, Roundup seminar, Madrid, (suppl. papers) : 3-23.

SERVIZI, J.A., R.W. GORDON and D.W. MARTENS, 1987. Acute toxicity of Garlon 4 and Roundup herbicides to Salmon, Daphnia, and Trout. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 39 : 15-22.

SPRANKLE, P., W.F. MEGGITT and D. PENNER, 1975a. Rapid inactivation of glyphosate in the soil. Weed Science, 23 : 224-228.

SPRANKLE, P., W.F. MEGGITT and D. PENNER, 1975b. Adsorption mobility and microbial degradation of glyphosate in the soil. Weed Science, 23 (3) : 229-234.

TOOBY, T.E., 1985. Fate and biological consequences of glyphosate in the aquatic environment. In E. Grossbard and D. Atkinson (eds.). The herbicide glyphosate. Butterworths and Co. (publishers) Ltd., U.K., pp. 206-217.

U.S. DEPARTMENT AGRICULTURE FOREST SERVICE, 1984. Pesticide background statement : glyphosate. In : Pesticide background statements : volume 1. Herbicides, Agriculture handbook no 633, pp. G1-G72.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1986. Guidance for the reregistration of pesticide products containing glyphosate as the active ingredient. U.S. EPA, Office of Pesticide Programs, Washington, D.C. EPA-540/RS-86-155, 212 p.

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Énergie et des Ressources
Service des études environnementales